

Realimentação e Estabilidade

Realimentação
&
Estabilidade

Realimentação e Estabilidade

A realimentação pode ser negativa (**degenerativa**)
ou positiva (**regenerativa**).

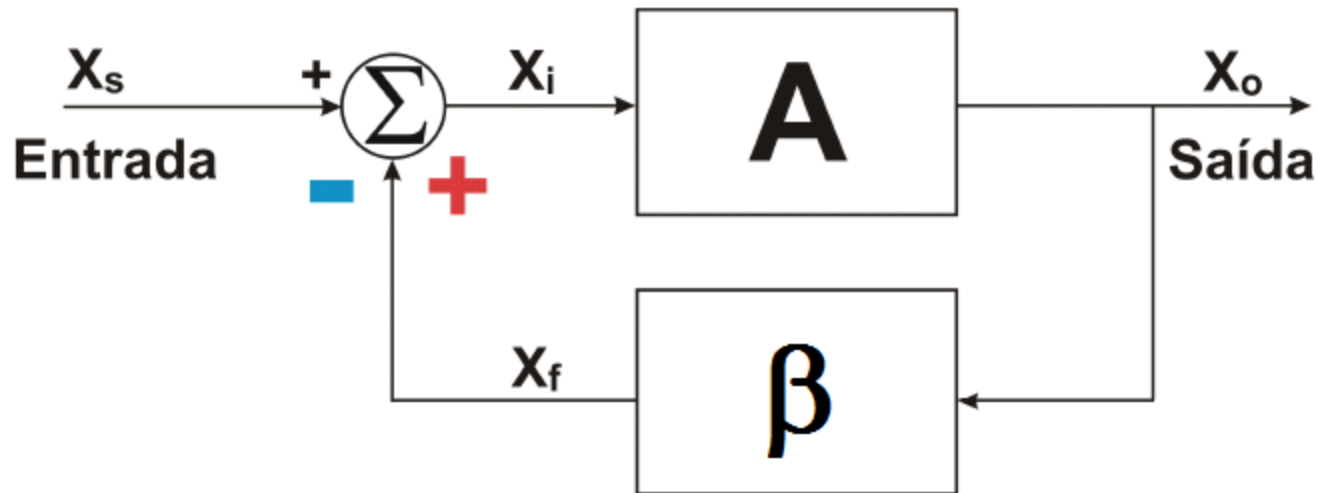


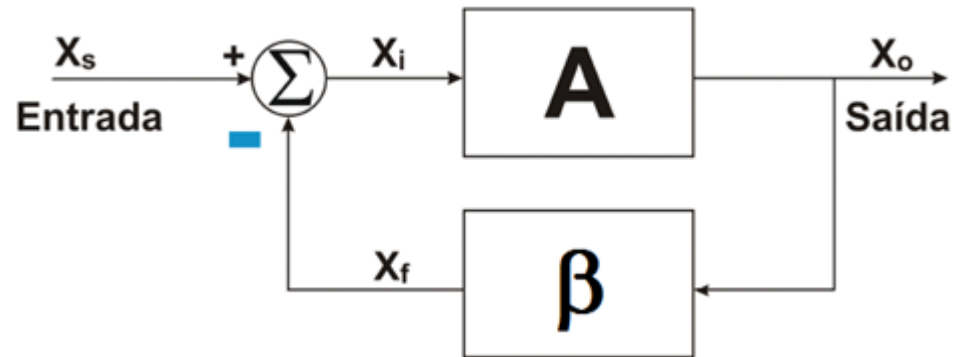
Diagrama de fluxo de um sistema com realimentação

Estabilidade

Realimentação negativa e Estabilidade

$$A_f(s) = \frac{A(s)}{1 + A(s)\beta(s)}$$

O produto $A(s)\beta(s)$ é chamado ganho de malha

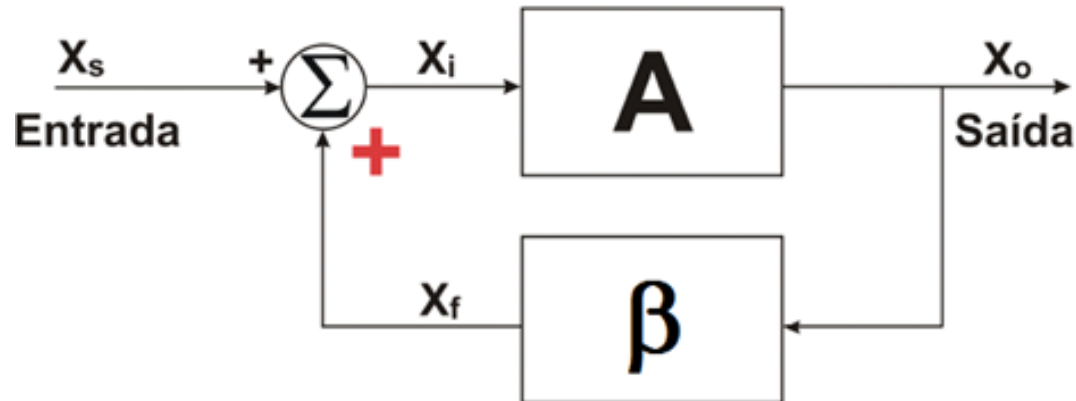


Pela função de transferência de malha fechada, vemos que os pólos do amplificador realimentado são as raízes de $1 + A(s)\beta(s)$.

Ou seja, os pólos do amplificador realimentado são obtidos pela resolução da **equação característica**: $1 + A(s)\beta(s) = 0$

Estabilidade

Realimentação positiva e **Instabilidade**



Condições para instabilidade

$$\phi(\omega) \geq 180^\circ \quad |A(j\omega)B(j\omega)| \geq 1$$

O problema da instabilidade reside no fato da fase sofrer uma variação de **180°** e provocar a soma dos sinais de entrada, em vez da subtração!

Realimentação

No projeto de um amplificador, a **realimentação negativa** é aplicada para obter uma ou mais das seguintes propriedades:

- Dessensibilidade do ganho A_v
- Redução da distorção não linear
- Redução do efeito do ruído
- Controle das impedâncias de entrada e saída
- Estender a faixa de passagem do amplificador

Qual o preço pago por estas melhorias ?

Realimentação

Dessensibilidade do ganho

$$\frac{dA_f}{A_f} = \frac{1}{(1 + A\beta)} \frac{dA}{A}$$

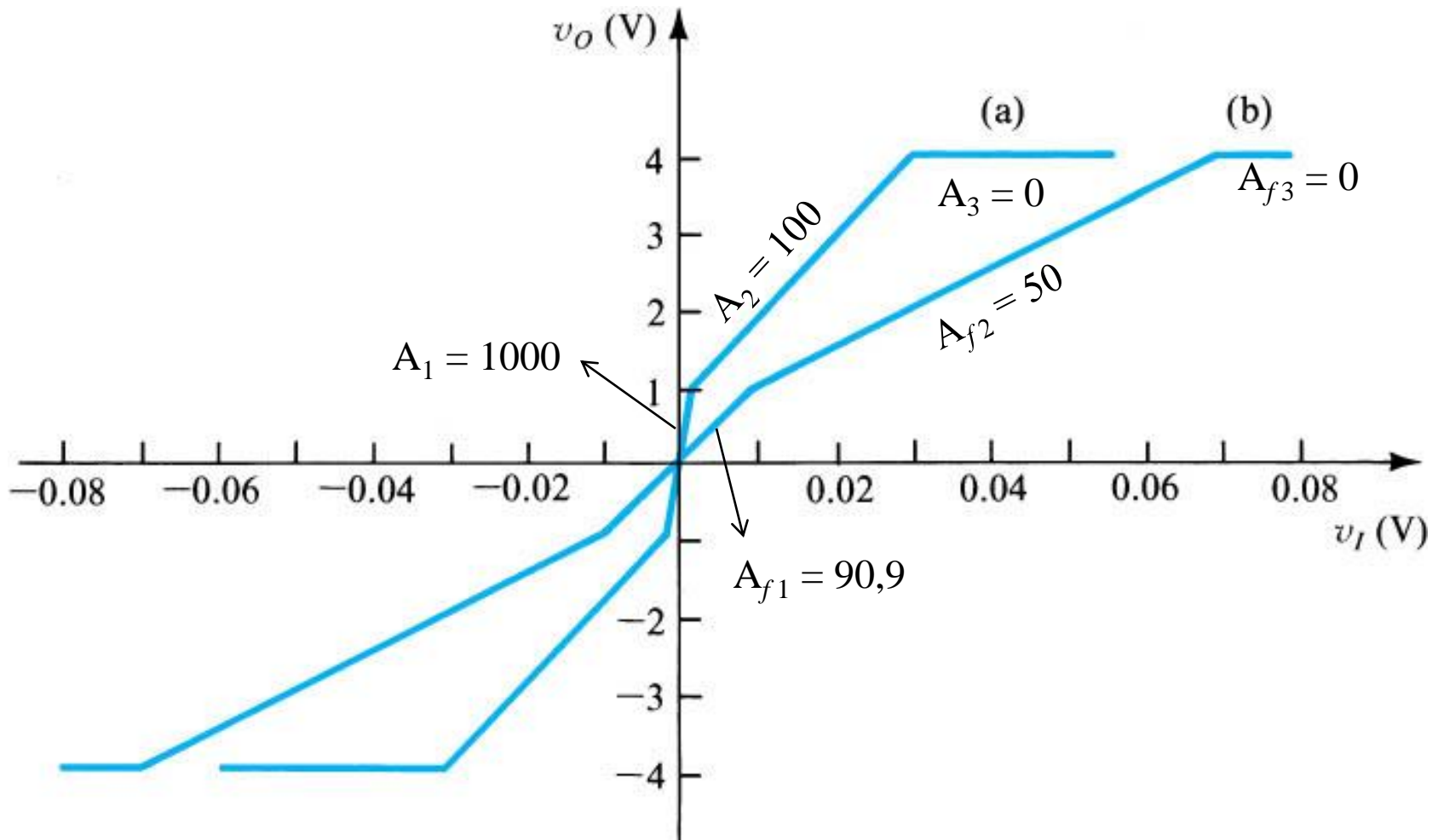
Aumento da faixa de passagem

$$\omega_{Hf} = \omega_H (1 + A\beta)$$

$$\omega_{Lf} = \frac{\omega_L}{(1 + A\beta)}$$

Realimentação e Estabilidade

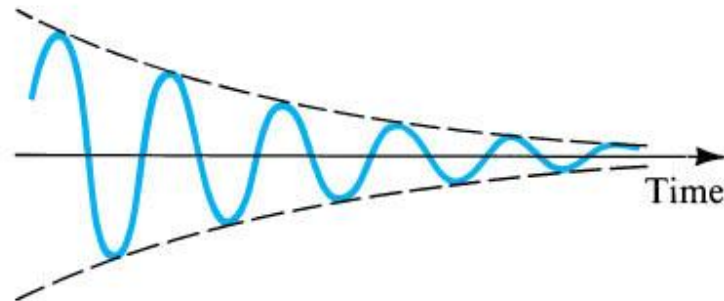
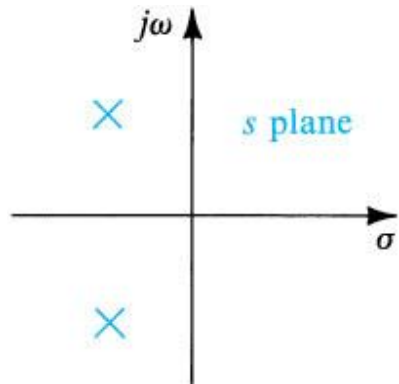
Redução da distorção não-linear



a) sem realimentação b) com realimentação negativa aplicada $\beta = 0,01$

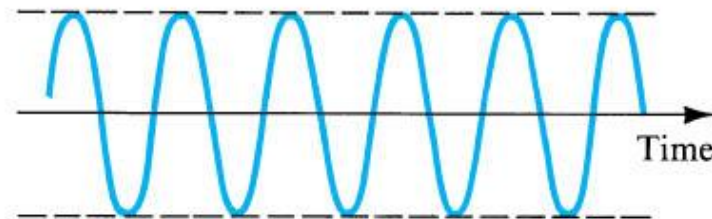
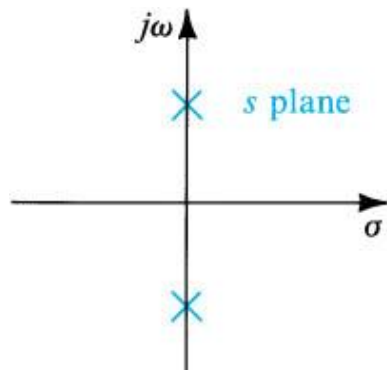
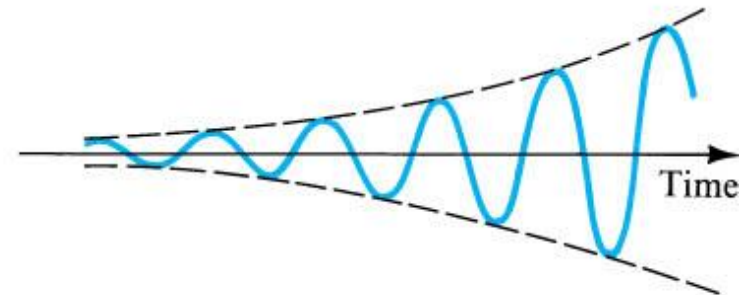
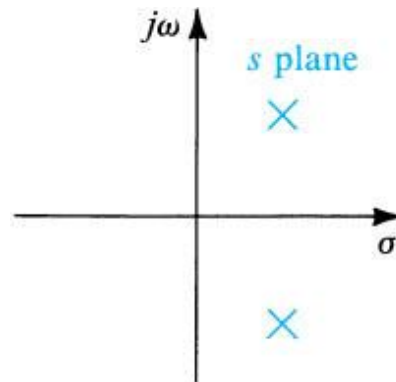
Estabilidade

A posição do pólo e a condição de estabilidade - plano 's'



estável

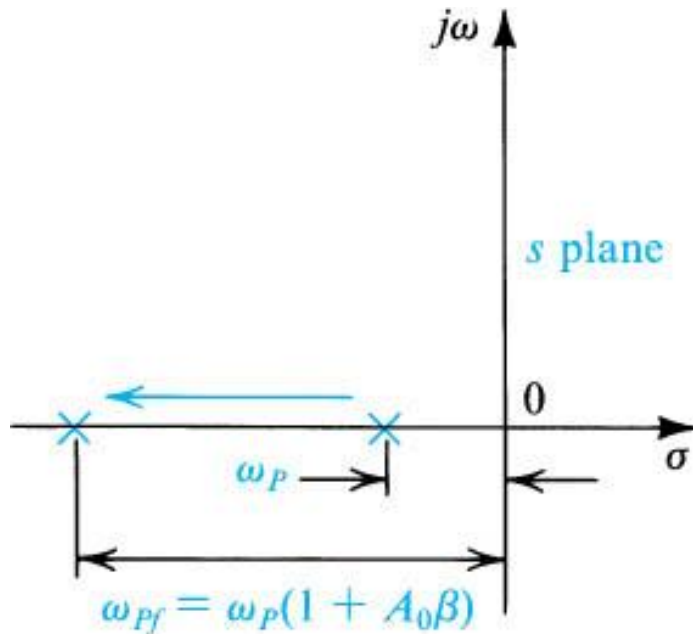
instável



instável

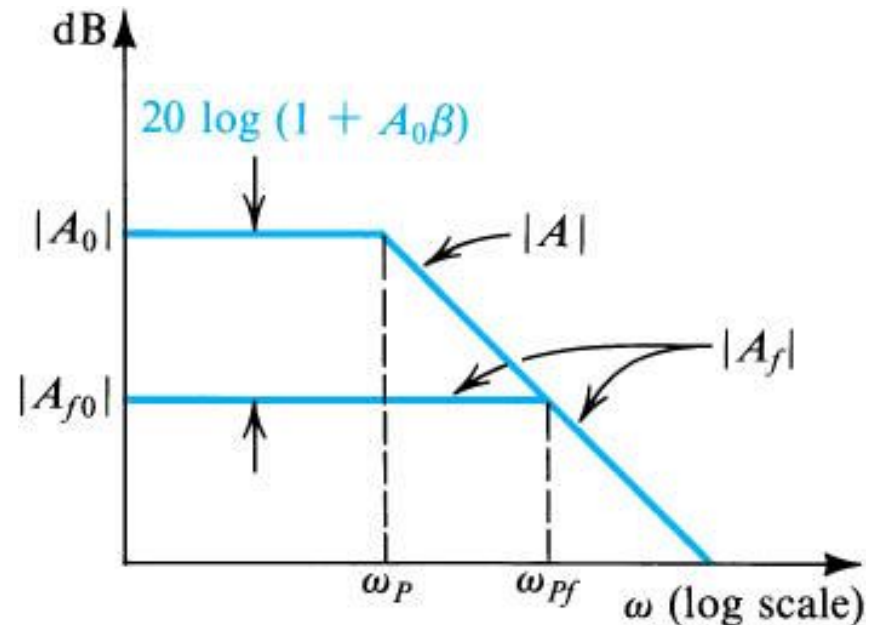
Realimentação

Resposta de um Amplificador com pólo único (realimentado)



(a)

Efeito da realimentação
na posição do pólo

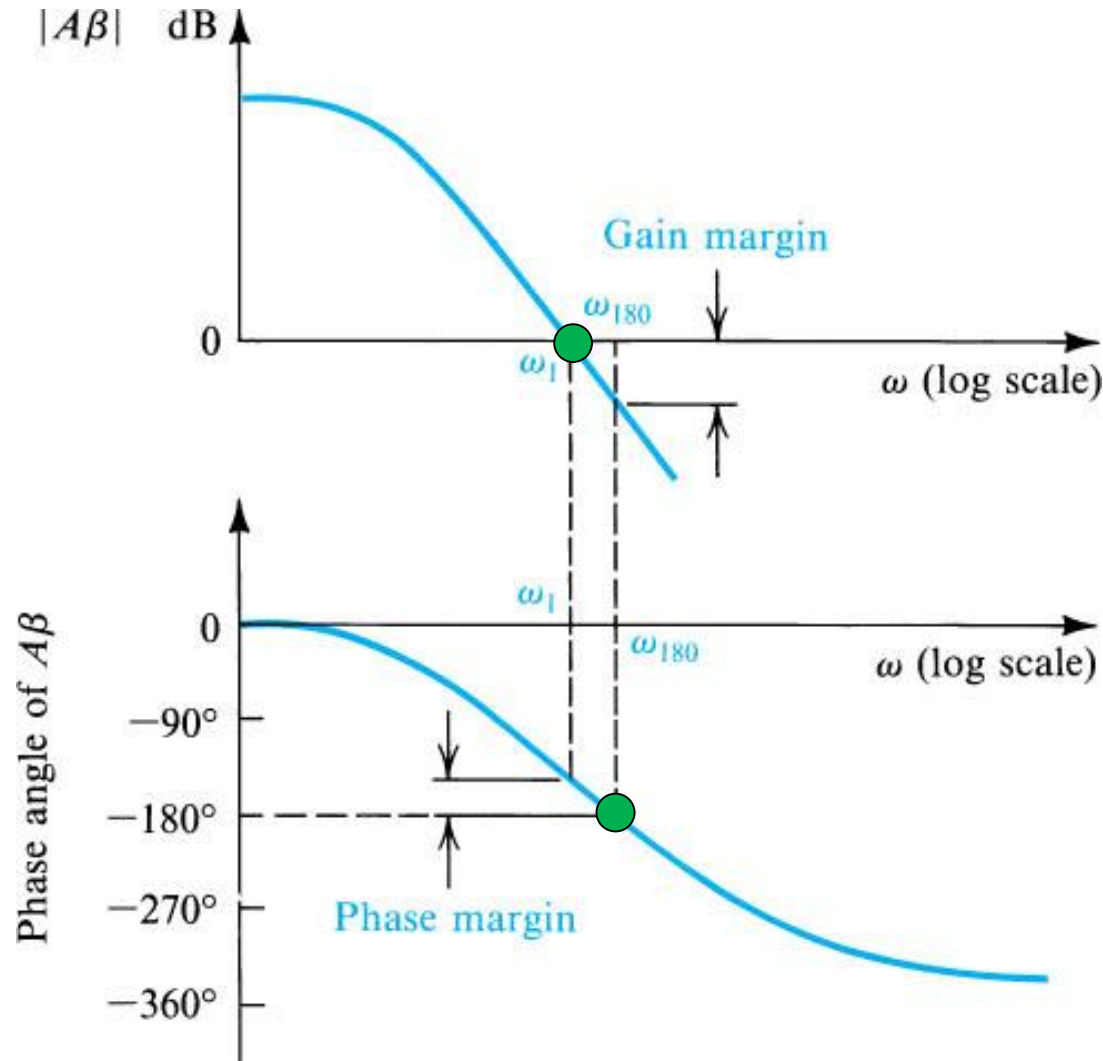


(b)

Resposta em frequência de um
amp. com pólo único

Realimentação e Estabilidade

Visualização do critério de estabilidade usando as curvas de Bode para o Ganho de Malha $|A\beta|$



Realimentação e Estabilidade

A condição de instabilidade é satisfeita para:

$$|A(j\omega)\beta(j\omega)| = 1 \text{ e } \phi(\omega) = 180^\circ$$

Pode-se generalizar, afirmando que o amp. op. será **instável** quando:

$$|A(j\omega)\beta(j\omega)| \geq 1 \text{ e } \phi(\omega) \geq 180^\circ$$

e será **estável** quando:

$$|A(j\omega)\beta(j\omega)| < 1 \text{ e } \phi(\omega) < 180^\circ$$

Estabilidade

Método Alternativo

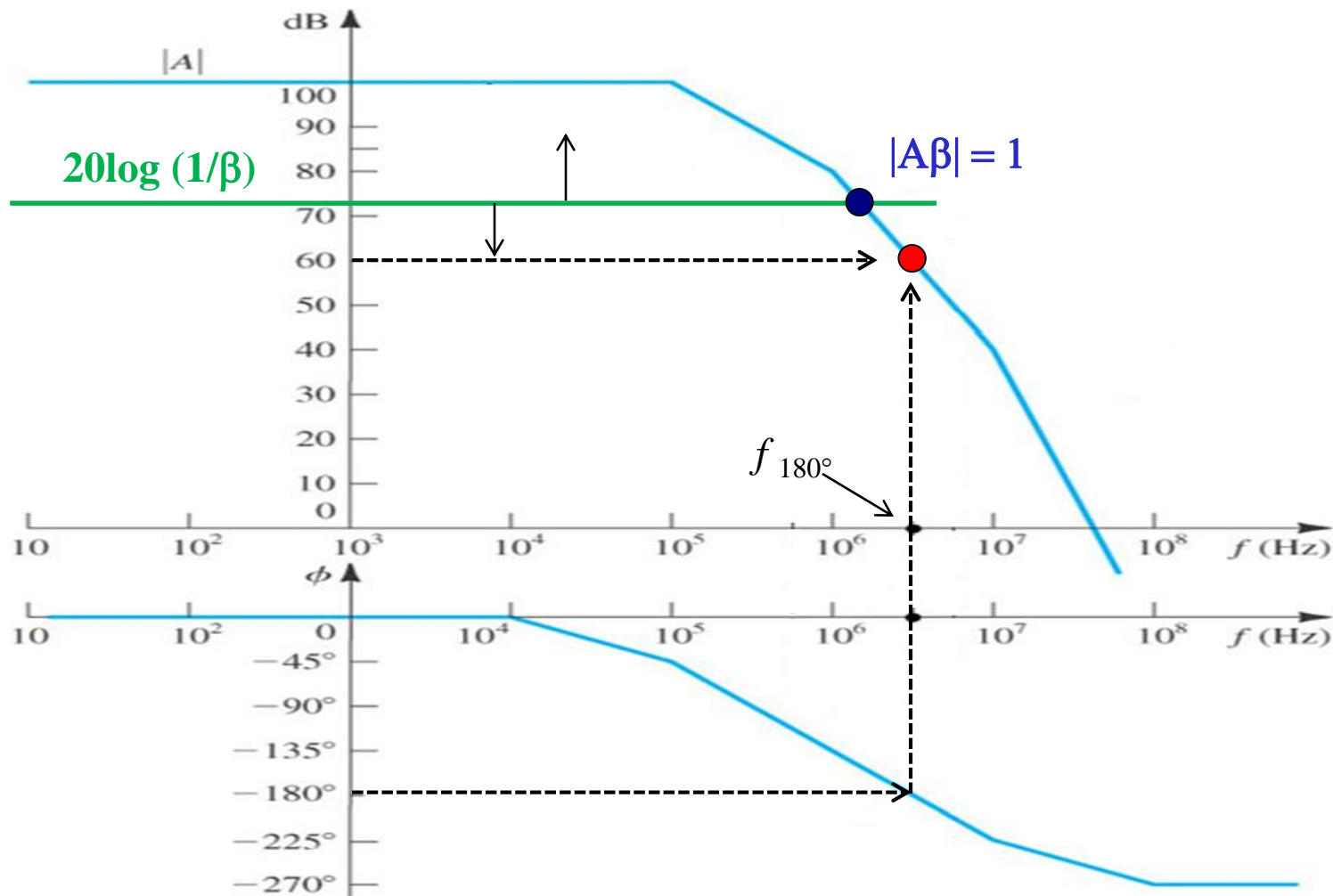
Usar o gráfico de Bode do ganho de malha aberta e sobrepor o gráfico do fator de realimentação

$$20 \log |A(j\omega)| - 20 \log \left| \frac{1}{\beta} \right| = 20 \log |A\beta|$$

No ponto de interseção $|A\beta| = 1$ (ou 0 dB)

Estabilidade

Método alternativo usando gráfico de Bode



Realimentação e Estabilidade

Análise de estabilidade com base na função de transferência em malha aberta

Considere a função de transferência de ganho de malha aberta:

$$A = \frac{10^5}{\left(1 + \frac{j}{10^5} f\right) \left(1 + \frac{j}{10^6} f\right) \left(1 + \frac{j}{10^7} f\right)}$$

1 - Construa o gráfico de Bode de módulo e fase.

2 - Ache a margem de ganho e a margem de fase para os seguintes fatores de realimentação:

β	$5,62 \times 10^{-5}$	$3,16 \times 10^{-3}$
$20 \log(1/\beta)$	85 dB	50 dB

3 – Qual o limite de β para garantir a estabilidade?

Realimentação e Estabilidade

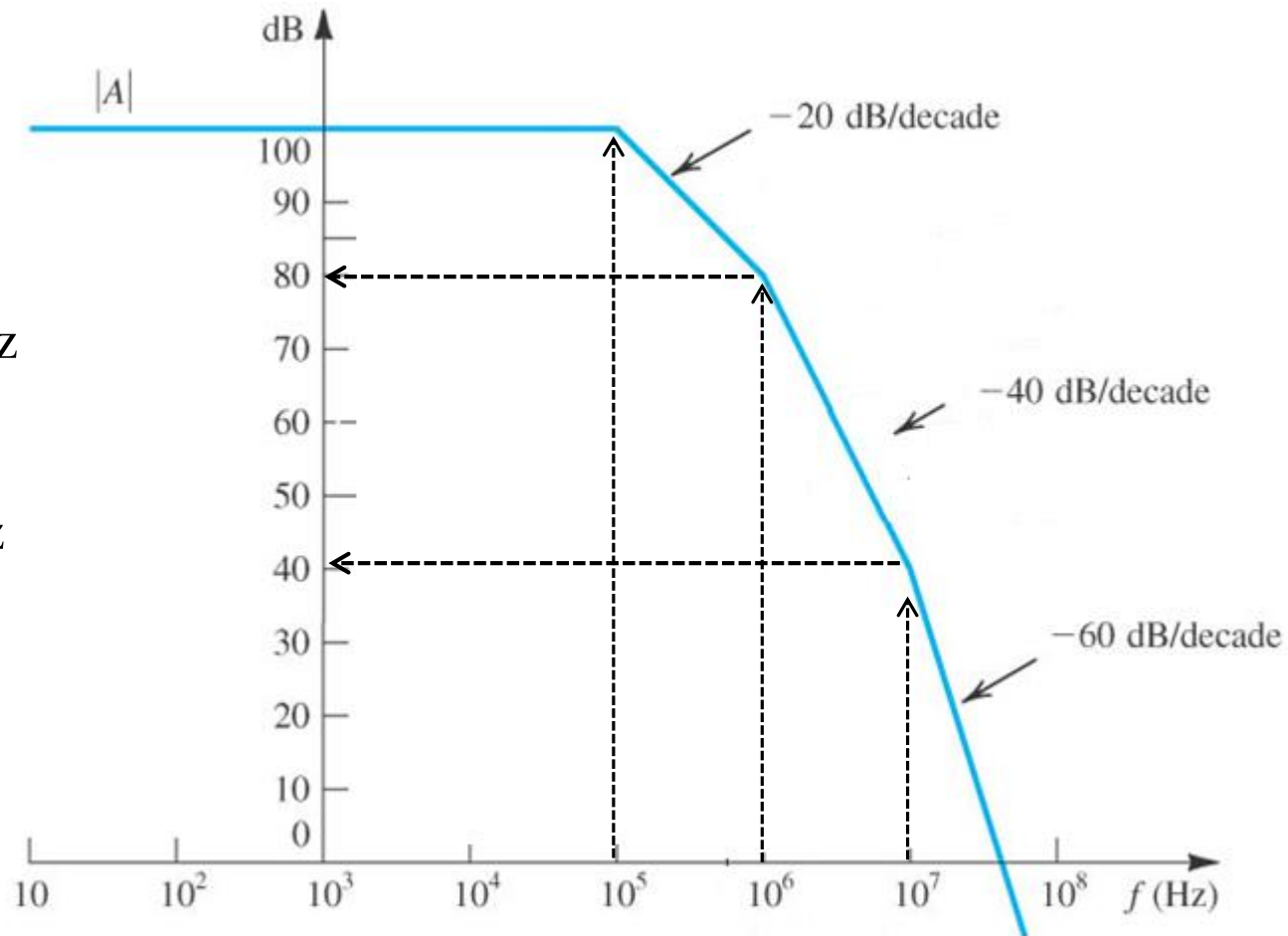
1 - Gráfico de Bode - módulo

Pólos:

$$f_{p1} = 0,1 \text{ MHz}$$

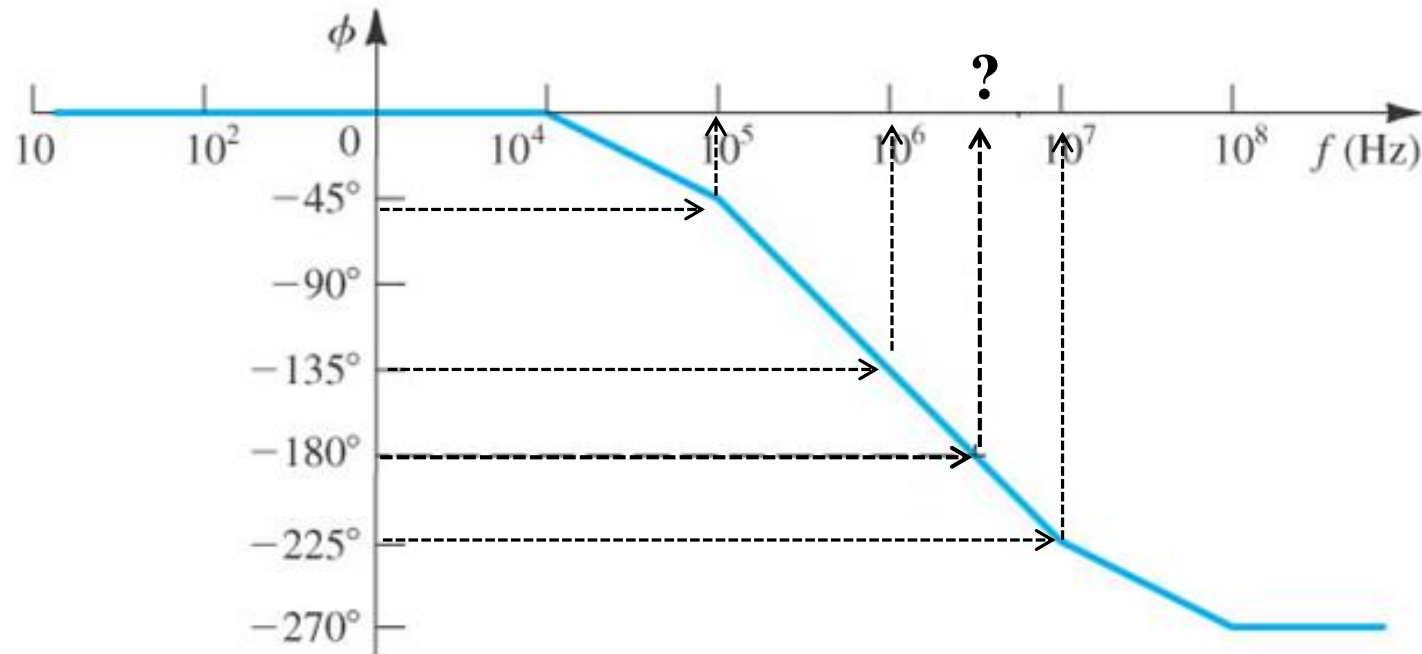
$$f_{p2} = 1 \text{ MHz}$$

$$f_{p3} = 10 \text{ MHz}$$



Realimentação e Estabilidade

1 - Gráfico de Bode – fase



$$\phi = -\left[\tan^{-1}\left(\frac{f}{10^5}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{f}{10^6}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{f}{10^7}\right) \right]$$

Realimentação e Estabilidade

2- Caso a)

Fator de realimentação $\beta = 5,62 \times 10^{-5}$

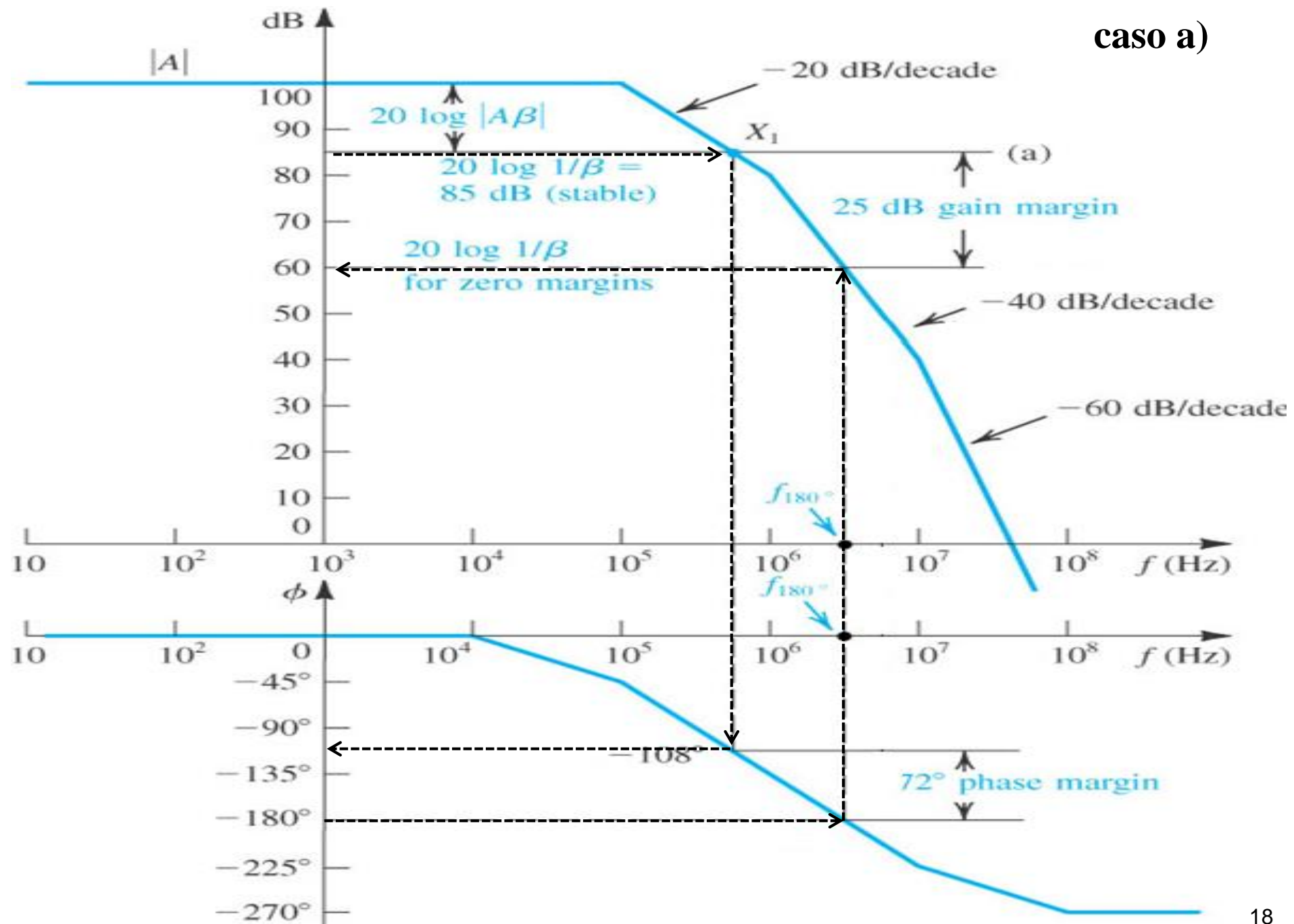
$$20 \log \left| \frac{1}{\beta} \right| = 85 \text{ dB}$$

2 -Caso b)

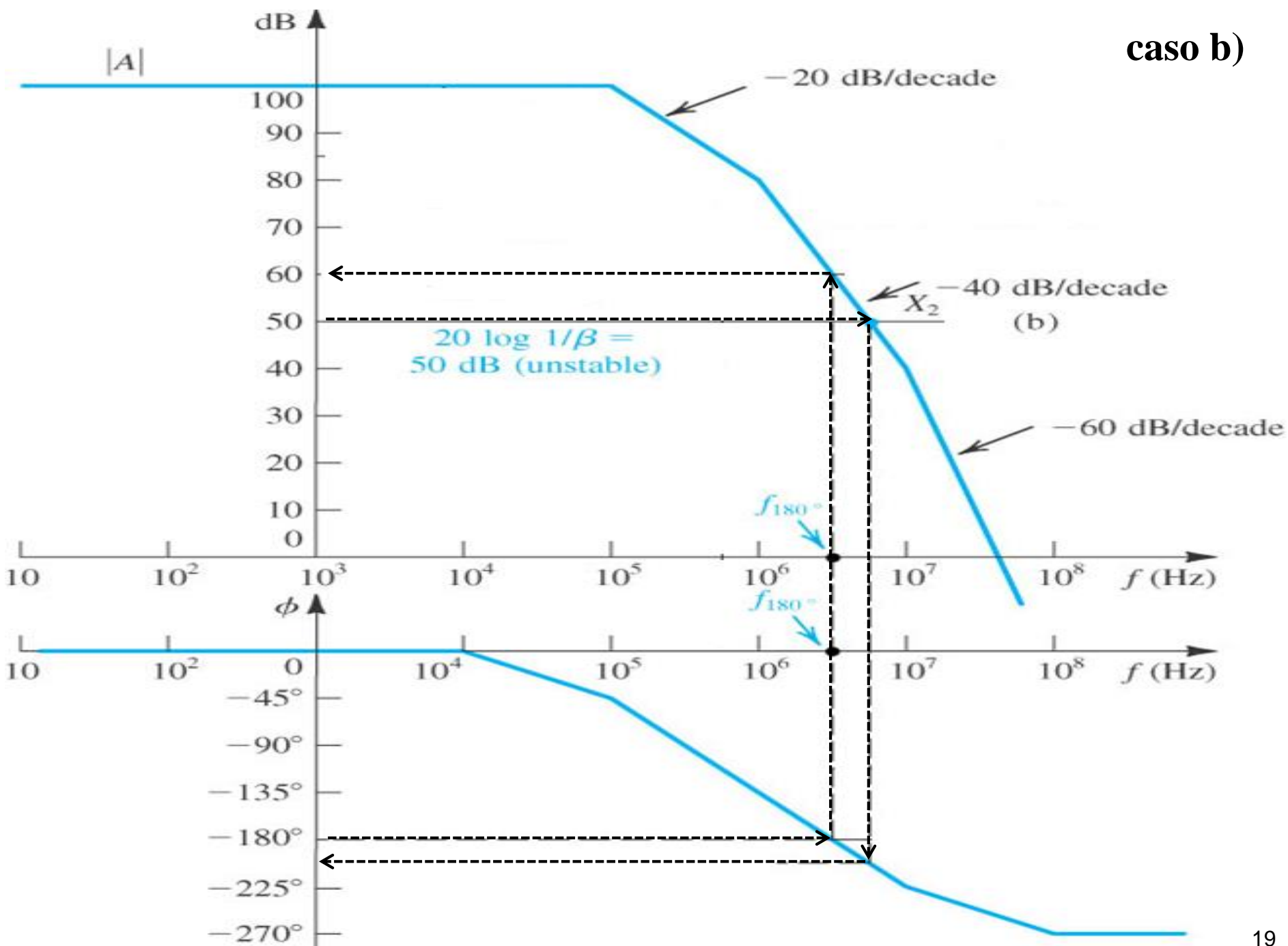
Fator de realimentação $\beta = 3,16 \times 10^{-3}$

$$20 \log \left| \frac{1}{\beta} \right| = 50 \text{ dB}$$

caso a)



caso b)



Estabilidade

3 – Qual o limite de β para garantir a estabilidade?

R: 60 dB ou $20\log(1/\beta)$ $\beta = 1 \times 10^{-3}$

Margem de Fase = 0

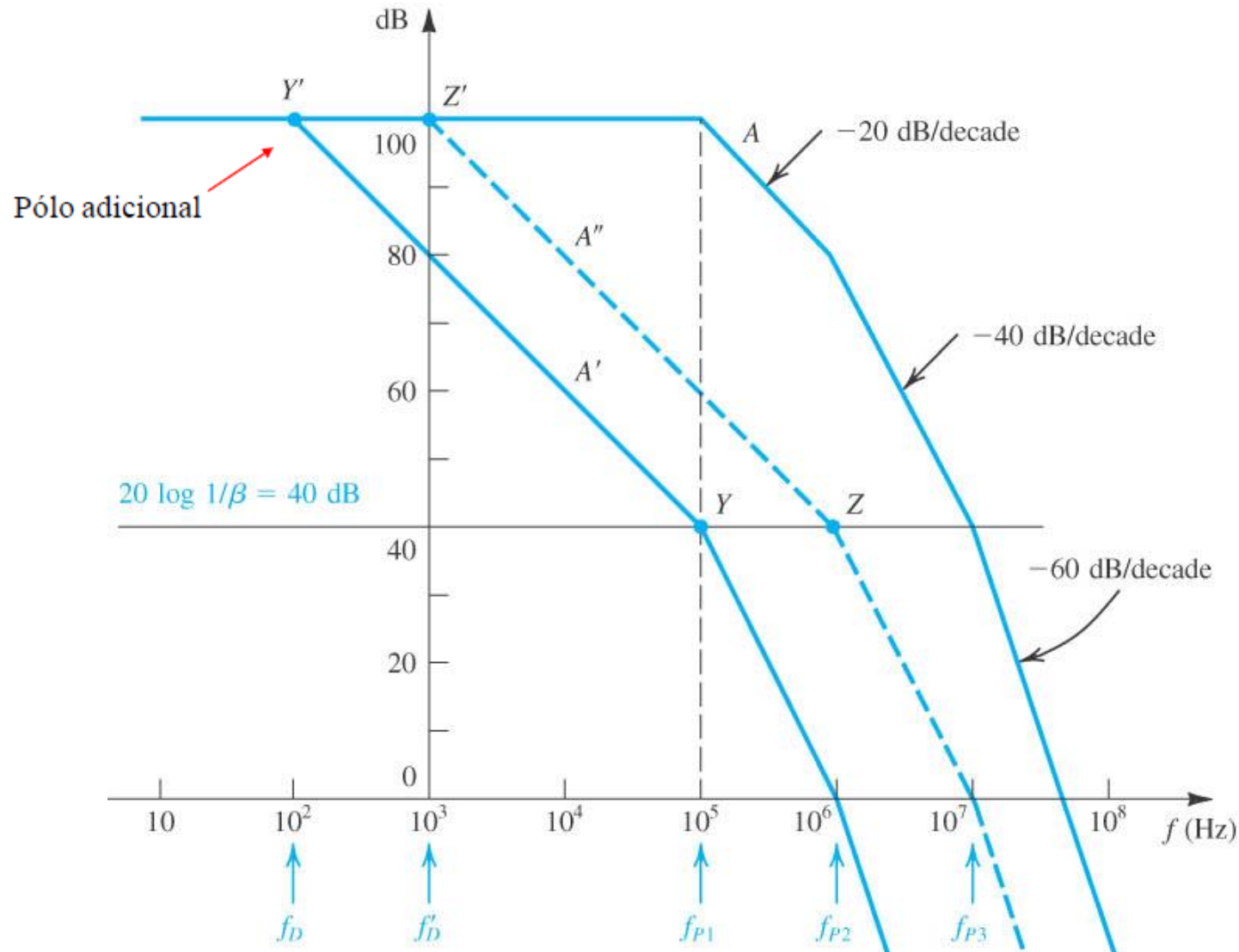
Margem de Ganho = 0

Como regra:

O amplificador com realimentação em malha fechada será estável (sempre) quando a curva de $20\log(1/\beta)$ interceptar a curva $20\log(A)$ no segmento com inclinação de -20 dB/dec

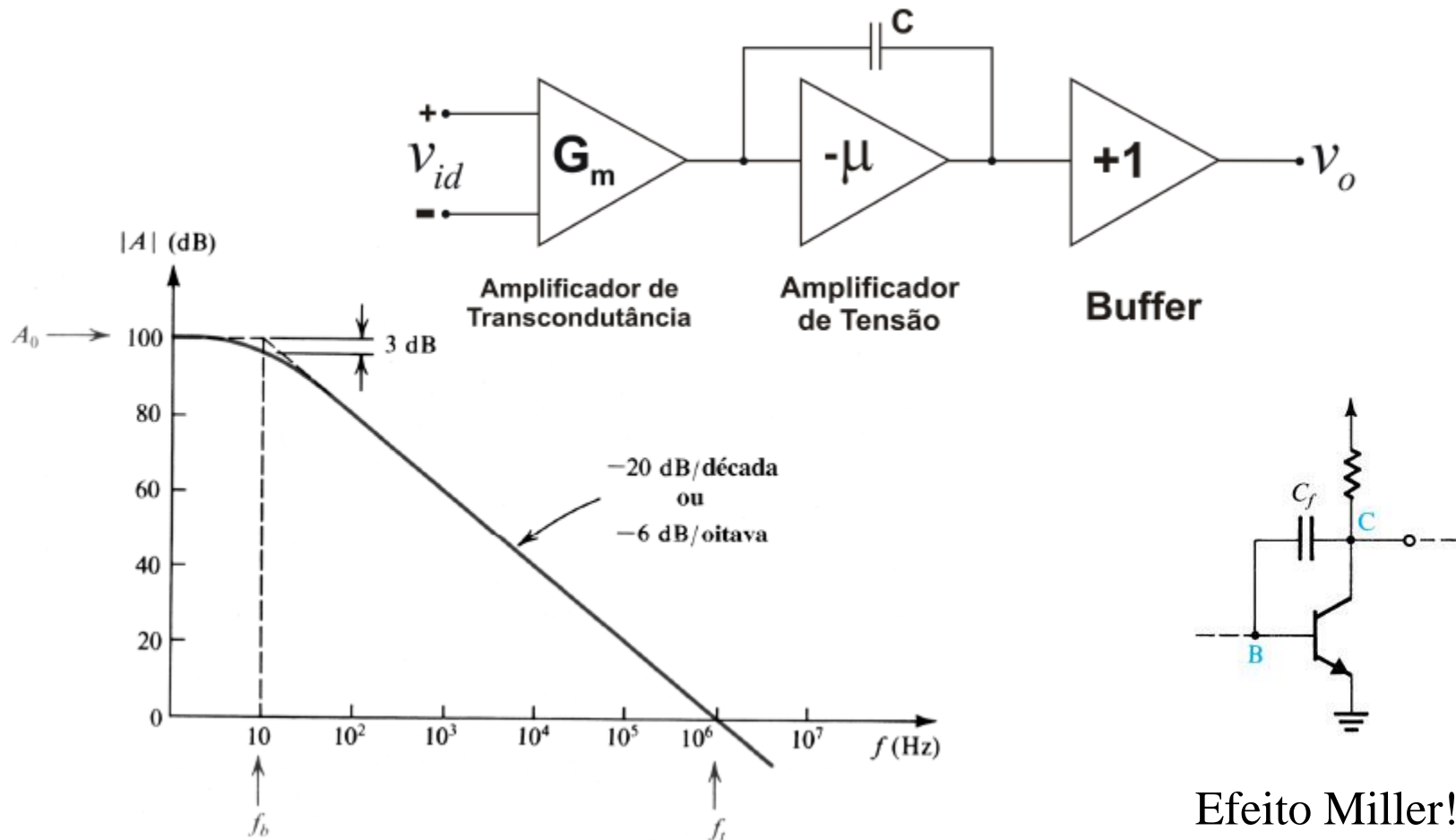
Estabilidade

Compensação em Frequência



Estabilidade

Diagrama de blocos de um amp. op. com compensação interna (pólo dominante)



Realimentação e Estabilidade

Sugestão de Estudo:

-Sedra & Smith 5ed. Cap. 8.

ítems 8.1, 8.2, 8.8, 8.9, 8.10 e 8.11.1

-Razavi. 2ed. Cap. 12.

Ítems 12.1, 12.2.1, 12.2.2 e 12.8

Exercícios correspondentes.